



مقایسه عمر گلجایی و کیفیت ژبررا در محلول محافظ حاوی اسانس‌های گیاهی و ترکیبات شیمیایی

حنیفه سید حاجی‌زاده^{۱*}، زهره مانی^۲، فتنانه یاری^۳، فهیمه قلی‌زاده وکیل‌کندی^۲

۱. دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

۳. استادیار، پژوهشکده کشاورزی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹

چکیده

عدم تعادل آبی و مسدود شدن آوندها عامل اصلی عمر گلجایی کوتاه ژبررا می‌باشد. به منظور بررسی پتانسیل اسانس‌های گیاهی در محلول محافظ به جای ترکیبات شیمیایی، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل محلول‌های گلدانی حاوی ۸-هیدروکسی کوئینولین سولفات (صفر و ۱۰۰ ppm) و اسانس آویشن و مرزه (۵۰۰ و ۲۵۰ ppm) بودند. محلول گلدانی حاوی آب مقطر و 8-HQS به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. سپس هر هفته علاوه بر بررسی ماندگاری گل‌ها، برخی پارامترهای فیزیولوژیکی، روابط آبی گیاه و جمعیت میکروبی اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد گل‌هایی که در محلول حاوی ۲۵۰ ppm اسانس آویشن قرار داشتند، ۸/۶ روز عمر گلجایی بیش‌تری نسبت به شاهد داشتند. از نظر ثابت پایداری غشا گلبرگ تیمار ۲۵۰ ppm مرزه بهترین عملکرد را نسبت به هر دو شاهد حاوی آب مقطر و 8-HQS در پایان نمونه‌برداری داشت. گلبرگ‌های ژبررا که در تیمار حاوی اسانس آویشن ۵۰۰ ppm قرار داشتند، شاداب‌تر بوده و نسبت به سایر تیمارها حتی در مقایسه با تیمار 8-HQS درصد آب بالاتری بودند. طی ماندگاری آنتوسیانین و ماده خشک روند افزایشی و مواد جامد محلول روند کاهشی داشت. خاصیت آنتی‌باکتریال اسانس‌ها با در نظر گرفتن نتایج مطلوب کنترل رشد جمعیت میکروبی محلول نگهدارنده، حتی در مقایسه با 8-HQS، کاملاً اثبات شد. لذا به نظر می‌رسد اسانس‌های گیاهی به‌خوبی قابلیت جایگزینی با مواد شیمیایی ضد باکتریایی را داشته و از اثرات مخرب زیست‌محیطی مواد شیمیایی متداول خواهند کاست.

کلیدواژه‌ها: تعادل آبی گلبرگ، خاصیت ضد میکروبی، عمر گلدانی، محلول نگهدارنده، 8-هیدروکسی کوئینولین سولفات.

Comparison of Vase Life and Quality of Gerbera in Preservative Solutions Including Essential Oils and Chemicals

Hanifeh Seyed Hajizadeh^{1*}, Zohreh Maani², Fataneh Yari³ and Fahimeh Gholizadeh Vakilkandi²

1. Associate Professor, Department of Horticultural Sciences and engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

2. M.Sc. Student, Department of Horticultural Sciences and engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

3. Assistant Professor, of Department of Agriculture, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran

Received: December 10, 2019

Accepted: May 30, 2020

Abstract

Water imbalance and vascular occlusion are two serious factors in sort lasting of cut gerbera. In order to evaluate the potentials of essential oils as an alternative to chemicals in the protective solution, a factorial experiment has been conducted in a completely randomized design with four replications. The treatments contain 8-hydroxyquinoline sulfate (0, 100 ppm) and thyme and savory essential oils (250, 500 ppm). Preservative solutions include distilled water and 8-HQS, both considered as the controls. Every day in a week, in addition to evaluating flower longevity, physiological parameters, plant water relations, and bactericidal population are measured. Results show that the protective solution with 250ppm of thyme essential oil offer 8.6 days longer vase life than the control. The 500ppm savory displays the best performance to protect the petal membrane stability, compared to both controls (distilled water or 8-HQS) at the end of the experiment. Gerbera petals, treated with thyme essential oil at 250 ppm, are fresher, having higher water content than other treatments, even in comparison with 8-HQS. During longevity, anthocyanin and dry matter have had an increasing trend with the Tss, showing a decreasing trend. The antibacterial properties of the essential oils have been significantly established in respect to the desired results of growth controlling of the microbial population in the preservative solution, even compared to 8-HQS, so it seems that the essential oils are a good alternative for antibacterial chemicals and can even reduce the harmful environmental side-effect of conventional preservative.

Keywords: Antimicrobial properties, petal water balance, preservative solution, vase life, 8-hydroxyquinoline sulfate.

۱. مقدمه

هدف از بررسی گل‌های شاخه‌بریده، درک روابط بیولوژیکی پیچیده در گیاه به منظور کاهش ضایعات محصولات در زنجیره تولید تا بازارسانی است. در طی دوره پس از برداشت، به علت وجود شرایط نامساعد از جمله شدت نور پایین، دمای نامناسب، رطوبت نسبی پایین، گیاه با شرایط تنش‌زا مواجه می‌شود (Wagstaff *et al.*, 2010). تنش وارد شده به‌طور کلی منجر به بروز تغییرات نامطلوبی در گیاه می‌شود. از جمله این تغییرات می‌توان به پژمردگی، تغییر رنگ، ریزش بخش‌هایی از گیاه مانند جام گل، گلبرگ و جوانه اشاره نمود (Jiang, 2012). با وجود ارزش اقتصادی زیاد گل‌های شاخه‌بریده، قابلیت فسادپذیری بالایی داشته و معمولاً عمر بسیار کوتاهی دارند. از این رو، هرگونه تلاش برای افزایش ماندگاری آن‌ها از طریق کنترل پیری با استفاده از دست‌ورزی‌های ژنتیکی و یا اعمال تیمارهای شیمیایی، می‌تواند در کاهش ضایعات پس از برداشتی مؤثر باشد (Kharrazi *et al.*, 2017). ژربرا (*Gerbera jamesonii*) یکی از مهم‌ترین گل‌های شاخه‌بریده با ارزش اقتصادی بالا در صنعت گل‌کاری بوده و رتبه چهارم را در بین گل‌های بریده به خود اختصاص داده است. مشکل اصلی پس از برداشت این گل بریده، کوتاهی طول عمر آن در اثر خمیدگی یا شکستن گردن و پژمردگی است (KousheshSaba & Nazari, 2017). اغلب محلول‌های محافظ حاوی 8-HQS هستند، که ترکیب شیمیایی صنعتی مورد استفاده در بسیاری از گل‌ها از جمله ژربرا (Soad *et al.*, 2011) است. اگرچه ترکیبی بسیار گران و برای سلامتی انسان مضر می‌باشد (Shanan *et al.*, 2010). این ماده ماهیت باکتری‌کشی داشته و منجر به افزایش جذب آب می‌شود به‌ویژه زمانی که ساکارز به‌عنوان مکمل استفاده شود (Asrar, 2011).

امروزه در راستای حذف یا کاهش استفاده از ترکیبات سنتزی، تحقیقات زیادی برای جایگزینی مواد شیمیایی با طبیعی انجام شده و گزارش‌های متعددی نشان می‌دهد که گیاهان دارویی دارای ترکیباتی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی یا آنتی‌رادیکالی بوده (Nakano & Asada, 1981) و اثرات مفید آن‌ها در حفظ کیفیت تعدادی از گل‌های شاخه‌بریده مانند لیزیانوس (Bayat *et al.*, 2013)، میخک (Shanan *et al.*, 2010) و داوودی (Bidarigh, 2015) به اثبات رسیده است. میانگین طول عمر گل‌های بریده آلسترومریا رقم Sacramento تیمار شده با آب مقطر (شاهد) ۱۷/۱۶ روز بود، در حالی که میانگین طول عمر گل‌های تیمار شده با ۵۰ میلی‌گرم در لیتر کارواکرول و ساکارز ۲۱/۱۶ روز و گل‌های تیمار شده با ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسانس گیاه دارویی مرزه و ساکارز، ۲۰ روز اعلام شده است (Sabzmeidan *et al.*, 2012). افزایش طول عمر گل بریدنی ژربرا از هفت روز (شاهد) به ۱۱ روز در تیمار با ۱۵ میکرولیتر در لیتر زنیان رسید و کاهش جمعیت میکروبی، بهبود وزن تر نسبی و افزایش جذب محلول گلجایی به ویژگی‌های ضد میکروبی اسانس‌های گیاهی و نانوذرات نقره نسبت داده شده است (KousheshSaba & Nazari, 2017).

با توجه به این‌که اسانس‌های گیاهی ترکیبات طبیعی و ایمن بوده و جایگزین مناسبی برای مواد شیمیایی مورد استفاده در افزایش عمر گلجایی گل‌های شاخه‌بریده می‌باشند (Bayat *et al.*, 2010). هدف از پژوهش حاضر بررسی امکان موفقیت جایگزینی این ترکیبات طبیعی در مقابل ترکیب شیمیایی در حفظ خصوصیات کیفی و افزایش ماندگاری گل‌های شاخه‌بریده ژربرا می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

گل‌های شاخه‌بریده ژربرا (*Gerbera jamesonii* L.) از گلخانه تجاری فدک (مراغه، ایران) در مرحله بلوغ تجاری

Bariola *et al.* (1999) اندازه گیری شده و با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV-1800, Shimadzu, Japan) در دو طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر میزان جذب قرائت و با استفاده از رابطه (۲)، مقدار نهایی آن محاسبه شد. مواد جامد محلول توسط رفرکتومتر دیجیتالی (Japan, Atago DA-A1) اندازه گیری شد.

رابطه (۲) Anthocyanin = D530 - 0.24 D657

محتوای نسبی آب گلبرگ^۱ (RWC) و محتوای آب گلبرگ^۲ (PWC) به ترتیب با استفاده از وزن کشتی اولیه گلبرگ ها به مقدار دو گرم FW، و تعیین وزن آماس (چهار ساعت غوطه وری در آب مقطر) TW و سپس وزن خشک DW (۴۸ ساعت قرارگیری در آون (ایران خودساز) ۷۰ درجه سانتی گراد) و رابطه (۳) (Gunes *et al.*, 2008) و رابطه (۴) (Ramirez-Vallejo & Kelly, 1998) محاسبه شد.

رابطه (۳) $RWC = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100$

رابطه (۴) $PWC = [(FW - DW) / FW] \times 100$

میزان کمبود آب نسبت به حالت اشباع^۳ (WSD) از طریق رابطه (۵) که میزان کمبود آب نسبت به ۱۰۰ درصد رطوبت گلبرگ در نظر گرفته شد، محاسبه شد (Nadafzadeh *et al.*, 2017).

رابطه (۵) $WSD = 100 - RWC$

یا $WSD = [(TW-FW)/(TW-DW)]$ فقدان آب گلبرگ^۴ (PWL) مطابق رابطه (۶) محاسبه شد (Nadafzadeh *et al.*, 2017).

رابطه (۶) $PWL = (FW-WW)/FW$

که FW: وزن برگ تازه، WW: وزن گلبرگ پس از چهار ساعت قرار گرفتن در هوای آزاد.

(بازشدن چهار ردیف از گلچه های خارجی) چیده و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس در زیر آب دیونیزه ساقه ها به ارتفاع ۳۵ سانتی متر به صورت مایل بازبرش شده و تیمار شدند. ترکیب های تیماری مورد استفاده عبارت بودند از $T_0 =$ آب مقطر (شاهد)، $T_1 =$ ۱۰۰۸-HQS ppm + ۳ ساکارز درصد، $T_2 =$ اسانس مرزه ۲۵۰ ppm + ۳ ساکارز درصد، $T_3 =$ اسانس مرزه ۲۵۰ ppm + ۳ ساکارز درصد، $T_4 =$ اسانس آویشن ۲۵۰ ppm + ۳ ساکارز درصد، $T_5 =$ اسانس آویشن ۵۰۰ ppm + ۳ ساکارز درصد. سپس گل ها در دمای 1 ± 10 درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۶۵-۶۰ درصد با فتوپریود ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی قرار گرفتند. صفت عمر گلجایی در قالب طرح کاملاً تصادفی و باقی صفات به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار (فاکتور اول: تیمارهای محلول محافظ در ۶ سطح و فاکتور دوم: زمان نمونه برداری در ۴ سطح) انجام گرفت و سه روز یک بار یادداشت برداری انجام شد.

خمیدگی ساقه بیش از ۹۰ درجه، پژمردگی گلبرگ و یا شکستگی ساقه به عنوان علائم پایانی طول عمر در نظر گرفته شد و تعداد روز تا مشاهده این علائم به عنوان طول عمر گلجایی یادداشت شد (Macnish *et al.*, 2008; Getaspolus *et al.*, 1999).

برای تعیین ثبات غشای سلولی (MSI) مقدار ۰/۲ گرم از گلبرگ های هر تکرار را در دو سری جدا وزن کرده و در ادامه توسط EC متر میزان نشت آن ها را به ترتیب به صورت c_1 و c_2 قرائت شده و با استفاده از رابطه (۱) مقدار آن به دست آمد (Sairam *et al.*, 1997).

رابطه (۱) $\left[1 - \frac{c_1}{c_2}\right] \times 100 =$ ثابت پایداری غشا (%) میزان کربوهیدرات کل به روش Irigoyen *et al.* (1992)

با قرائت میزان جذب آن ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر انجام گردید. آنتوسیانین گلبرگ مطابق با روش

1. Relative water Content
2. Petal Water Content
3. Water Saturation Deficit
4. Petal water Loss

کشت باکتری

برای بررسی جمعیت میکروبی از روش Balestra *et al.* (2005) استفاده گردید. در هر تیمار عمل رقیق‌سازی به نسبت ۹:۱، یک میلی‌لیتر محلول گلجایی ۹ میلی‌لیتر آب مقطر صورت گرفت، سپس اضافه شد و بعد از مراحل رقیق‌سازی چهار بار دیگر ($D10^4$) تکرار شد. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از آخرین رقیق‌سازی در پتری‌دیش‌های محتوی محیط کشت نوترینت آگار کشت شد و در انکوباتور ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. شمارش کلون‌ها بعد از ۴۸ ساعت و برحسب کلونی‌های تشکیل شده در میلی‌لیتر (cfu/ml) انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار (۹/۱) SAS و مقایسه میانگین اثر تیمارها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار Microsoft Office Excel (2016) رسم شدند.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. عمر گلجایی

اثر تیمار محلول‌های مختلف محافظ گل بر عمر گلجایی معنی‌دار بود (جدول ۱) و مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد گل‌هایی که در محلول گلدانی حاوی ۲۵۰ppm اسانس آویشن قرار داشتند، دارای بیش‌ترین عمر گلجایی (۲۱ روز) نسبت به شاهد (۱۲/۳۳ روز) بودند. این در حالی است که اسانس آویشن و مرزه هر دو در سطح ۵۰۰ppm تفاوت چشم‌گیری با هم نداشتند (شکل ۱). Bayat *et al.* (2010) طی بررسی‌های خود درباره تأثیر اتانول و اسانس‌های گیاهان دارویی بر افزایش عمر گلجایی گل شاخه‌بریده میخک به این نتیجه رسیدند که اسانس‌ها در تمامی غلظت‌ها عمر گلجایی میخک را بهتر از اتانول افزایش دادند و اسانس مرزه (۱۰۰ppm) بیش‌ترین تأثیر را در افزایش عمر گلجایی (۴/۴ روز) نسبت به شاهد داشت. تأثیر اسانس‌های مختلف نسبت

به انواع مواد شیمیایی مانند 8-HQS و اتانول در افزایش عمر گلجایی برخی از گل‌های شاخه‌بریده نظیر میخک (Ahmadi Sabzmeidani *et al.*, 2015) و آلسترومیریا (Mirabad *et al.*, 2012) نیز بیان‌گر این است که خاصیت ضد میکروبی اسانس‌ها در محلول نگهدارنده گل‌ها احتمالاً تأثیر بیش‌تری در افزایش عمر گلدانی گل‌ها دارد. برخلاف پژوهش Shaman *et al.* (2010) مبنی بر وجود رابطه مستقیم بین دوز اسانس و تعداد روزهای عمر گلجایی، چنین رابطه‌ای به‌طور دقیق در غلظت ۵۰۰ppm اسانس آویشن مشاهده نشد. لذا به‌نظر می‌رسد بین غلظت اسانس‌های استفاده‌شده و نوع گیاه اسانس‌گیری شده و بافت ساقه گل‌های ژبررا در این پژوهش رابطه وجود دارد و به‌منظور بررسی احتمال بروز سمیت ناشی از غلظت بالای اسانس آویشن پژوهش‌های کامل‌تری باید صورت بگیرد. از دیگرگرسو، گران‌قیمتی اسانس‌های گیاهی و صرفه اقتصادی مقادیر اندک را نیز نباید از نظر دور داشت.

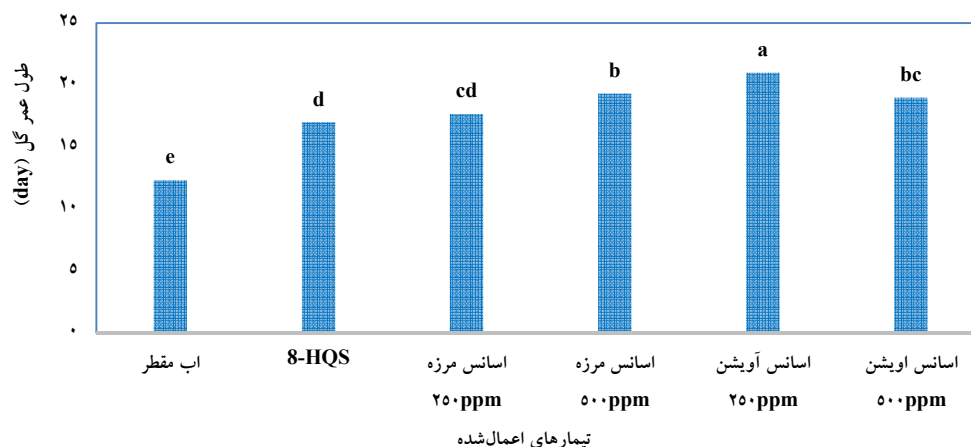
جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تیمار محلول‌های محافظ

مختلف بر عمر گلجایی گل شاخه‌بریده ژبررا		منابع تغییر
میانگین مربعات	درجه آزادی	
عمر گلجایی		تیمارهای اعمال شده
۲۶۷۲**	۵	خطا
۰/۶۶	۱۲	ضریب تغییرات
۴/۶	-	

*, **, و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ادرصد و عدم معنی‌داری.

۳.۲. ثابت پایداری غشای گلبرگ

نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمار و زمان بر میزان ثابت پایداری غشای گلبرگ تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشت (جدول ۲). بیش‌ترین میزان ثابت پایداری غشا به ترتیب مربوط به تیمارهای 8-HQS و اسانس آویشن ۲۵۰ppm در اولین هفته نمونه‌برداری بود (شکل ۲).



شکل ۱. اثر تیمارهای محلول گلجایی بر عمر گلجایی گل شاخه بریده ژبررا

ضداکسیداسیونی طی فرایند پیری گل باشد (Ezhilmathi *et al.*, 2007).

۳.۳. میزان کربوهیدرات کل گلبرگ

با توجه به اثر متقابل معنی دار (جدول ۲) محلول های محافظ و زمان نمونه برداری و در ادامه شکل (۳) مشخص شد که بیشترین مقدار کربوهیدرات کل مربوط به گلبرگ هایی بود که در محلول حاوی ۵۰۰ppm اسانس مرزه قرار گرفته بودند. در همه تیمارها به جز اسانس آویشن ۵۰۰ppm در سومین هفته نمونه برداری میزان کربوهیدرات افزایش یافت، ولی در هفته چهارم به طور قابل ملاحظه ای کاهش نشان داد. بنابراین می توان این نتیجه را پیش بینی کرد که گل ها در هفته سوم نتوانستند مقدار کربوهیدرات بیشتری از محلول گلجایی جذب کنند. در نتیجه مقدار کربوهیدرات آن ها افزایش یافته و در آخرین هفته احتمالاً به علت انسداد آوندی کربوهیدرات زیادی جذب نکرده و در این صورت مقدار کربوهیدرات در این هفته افت شدید را نشان داد.

اثر ساده تیمارهای مختلف بر مقدار کربوهیدرات کل معنی دار نبود، اما مقدار کربوهیدرات کل در گلبرگ ها در

به طوری که با گذشت زمان ثابت پایداری غشا کاهش یافت که با یافته های *Danai et al.* (2011) و *Fereidouni et al.* (2011) مطابقت دارد. همچنین بیشترین ثابت پایداری غشا در آخرین هفته نمونه برداری مربوط به تیمار اسانس مرزه ۵۰۰ppm بود که نسبت به بقیه تیمارها بهتر عمل کرد و این در حالیکه تیمار اسانس آویشن ۵۰۰ppm، کمترین پایداری غشای گلبرگ را داشت. همچنین میزان ثابت پایداری غشا در گلبرگ های تیمار اسانس مرزه ۵۰۰ppm تفاوت معنی داری با تیمار 8-HQS در آخرین هفته نمونه برداری داشت. این نتایج همسو با یافته های دیگر پژوهشگران است که بیان داشتند در گل هایی مانند ژبررا (KousheshSaba & Nazari, 2017) شاخص پایداری غشا در ابتدای هفته باز شدن گل بالا بوده و در هفته پیری کاهش می یابد. با تعیین ثبات غشای سلولی می توان میزان پژمردگی گل ها را پیش بینی نمود. گونه های فعال اکسیژن تمایل زیادی برای حمله به غشاهای سلولی از خود نشان می دهند (Chanjirakul *et al.*, 2008) و این نتیجه معقول است که کاهش پایداری غشا به احتمال زیاد در اثر افزایش فعالیت گونه های اکسیژن فعال و کاهش فعالیت آنزیم های

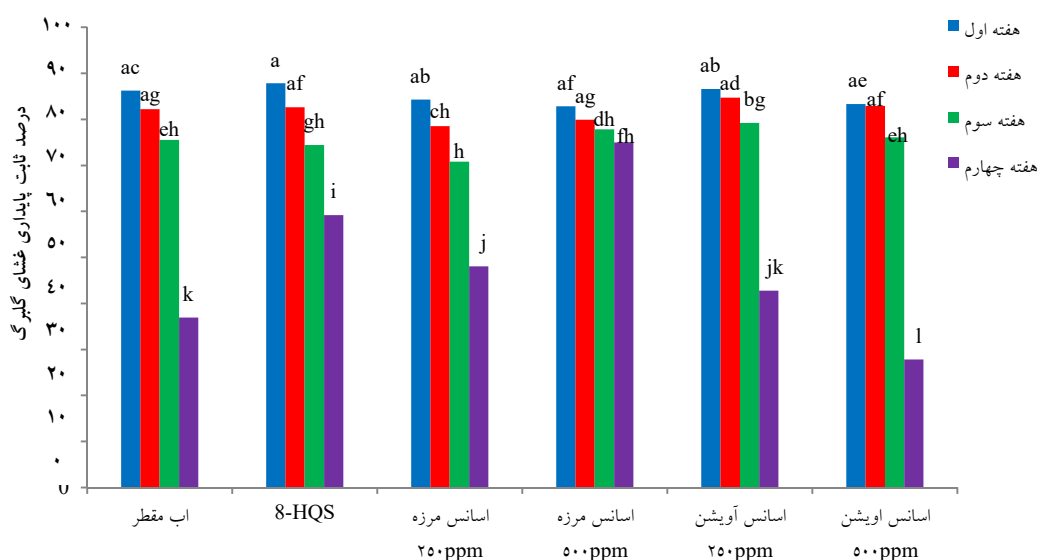
کربوهیدرات کل در طی دوره زمانی پس از اعمال تیمارها در حالی مورد ارزیابی قرار گرفت که کلیه تیمارهای اعمالی شامل سه درصد ساکارز بودند. کربوهیدرات ضمن تأمین انرژی لازم برای تمام فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای بعد از جدا شدن از گیاه مادری ذخیره غذایی لازم را برای استحکام ساختار دیواره سلولی و نیز انرژی مورد نیاز برای رشد و طویل شدن سلول را فراهم می کنند.

آخرین روز نمونه برداری به میزان قابل توجهی کاهش یافت. اگر موادی به کار گرفته شود که بتواند از رشد میکروارگانیسمها جلوگیری کند خواهد توانست تنفس و در نتیجه مصرف کربوهیدراتها را کاهش داده و به افزایش ماندگاری گل های شاخه بریده کمک کند. لذا می توان مطلوبیت میزان کربوهیدرات کل را در تیمارهای اسانس مرتبط با این مورد دانست. از دیگر سو، تغییرات

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر محلول های محافظ مختلف طی زمان بر ثبات غشا، کربوهیدرات، آنتوسیانین، TSS، وزن خشک (Dw)، محتوای نسبی آب (RWC)، میزان کمبود آب نسبت به حالت اشباع (WSD)، محتوای آب گلبرگ (PWC) و فقدان آب گلبرگ (PWL) گل شاخه بریده ژبررا

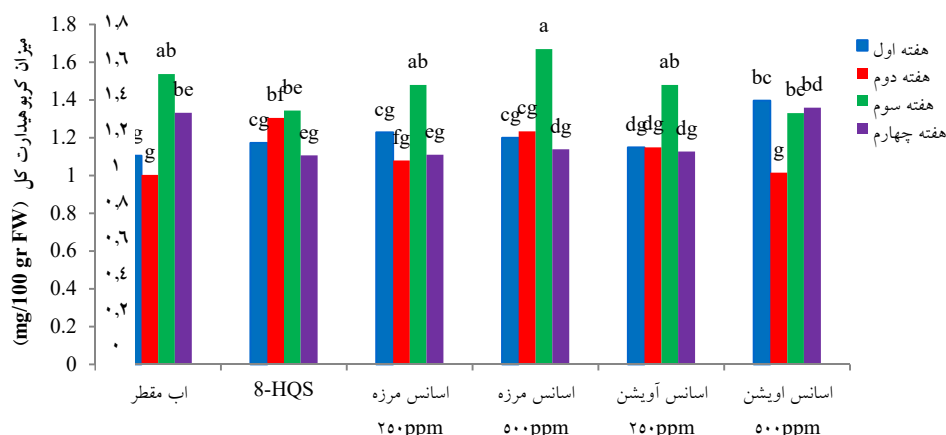
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						کربوهیدرات کل آنتوسیانینها	ثبات غشا	تیمار محلول محافظ
		PWL	PWC	WSD	RWC	Dw	TSS			
تیمار محلول محافظ	۵	۰/۰۰۳۶*	۰/۹۶*	۰/۰۰۳۷**	ns/۰۰۲۵	۰/۰۰۰۴۹**	۳۴/۳۱**	۰/۰۶۵**	۲۱۰/۰۹**	۵
زمان نمونه برداری	۳	۰/۰۲۳**	۱۱/۴۳**	۰/۰۱۶۸**	۰/۰۳۶**	۰/۰۰۴۲**	۱۳۴/۵۷**	۲/۱۹۷**	۰/۴۱۱**	۳
تیمار × زمان	۱۵	۰/۰۰۴۲**	۰/۹۷**	۰/۰۰۵۶**	۰/۰۰۵۷**	۰/۰۰۰۳۸**	۳۲/۴۶**	۰/۰۳۶**	۰/۰۵*	۱۵
خطا	۴۸	۰/۰۰۱۲	۰/۲۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۱	۴/۷۸	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۴۸
ضریب تغییرات (%)	-	۲۳/۷۹	۸/۳۴	۱۸/۰۲	۵/۳۱	۷/۸۲	۱۷/۹۱	۱۲/۹۷	۱۱/۸۷	-

ns، * و ** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری.



شکل ۲. اثرات متقابل تیمارهای محلول گلجای طی چهار هفته بر درصد ثابت پایداری غشای گلبرگ گل شاخه بریده ژبررا

مقایسه عمر گلجایی و کیفیت ژبررا در محلول محافظ حاوی اسانس های گیاهی و ترکیبات شیمیایی



شکل ۳. اثرات متقابل تیمارهای محلول گلجایی طی چهار هفته بر میزان کربوهیدرات کل گلبرگ گل شاخه بریده ژبررا

۳.۴. میزان آنتوسیانین های گلبرگ

اثر متقابل تیمار در زمان (جدول ۳) و مقایسه غلظت های مختلف تیمارهای محلول های نگهدارنده (شکل ۴) نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین مربوط به تیمار اسانس مرزه ۲۵۰ppm و اسانس آویشن ۵۰۰ppm می باشد در آخرین هفته نمونه برداری است. مقدار آنتوسیانین گلبرگ ها دارای یک روند صعودی در طی زمان بود به طوریکه تمامی محلول های نگهدارنده حاوی اسانس فارغ از نوع آن، مقدار آنتوسیانین بیشتری نسبت به تیمار 8-HQS به ویژه در آخرین هفته نمونه برداری داشتند.

۳.۵. مواد جامد محلول (TSS) گلبرگ

بیشترین مقدار مواد جامد محلول به ترتیب مربوط به تیمارهای اسانس مرزه ۲۵۰ppm، اسانس آویشن ۲۵۰ppm و اسانس مرزه ۵۰۰ppm (به ترتیب ۲۲/۳، ۲۱/۸ و ۲۰/۹) در اولین هفته نمونه برداری بود و کمترین مقدار آن مربوط به شاهد و 8-HQS است که اختلاف معنی داری باهم نداشتند. ولی در مراحل بعدی با توجه به نمودار مشخص است که میزان مواد جامد محلول رفته رفته رو به کاهش است. این روند کاهش با توجه به بروز تدریجی بازتاب پیری گل طی زمان، طبیعی به نظر می رسد (شکل ۵).

۳.۶. ماده خشک (DW)

مقدار ماده خشک تقریباً در همه تیمارها به تدریج افزایش یافته (شکل ۶) و لذا می توان این گونه نتیجه گیری کرد که با گذشت زمان و به علت انسداد آوندی که در گل ها رخ داده، گل ها آب کمتری جذب کرده اند و طبق نمودار، کمترین مقدار ماده خشک در آخرین هفته مربوط به اسانس آویشن ۲۵۰ppm بود. این نتیجه را می توان با نمودار مواد جامد محلول نیز توجیه کرد که مقدار TSS در این تیمار در آخرین هفته در کمترین مقدار است و با توجه به نمودار محتوای آب گلبرگ نیز مشخص است که

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمار محلول های محافظ مختلف

طی زمان بر میزان آلودگی میکروبی در محلول گلجایی

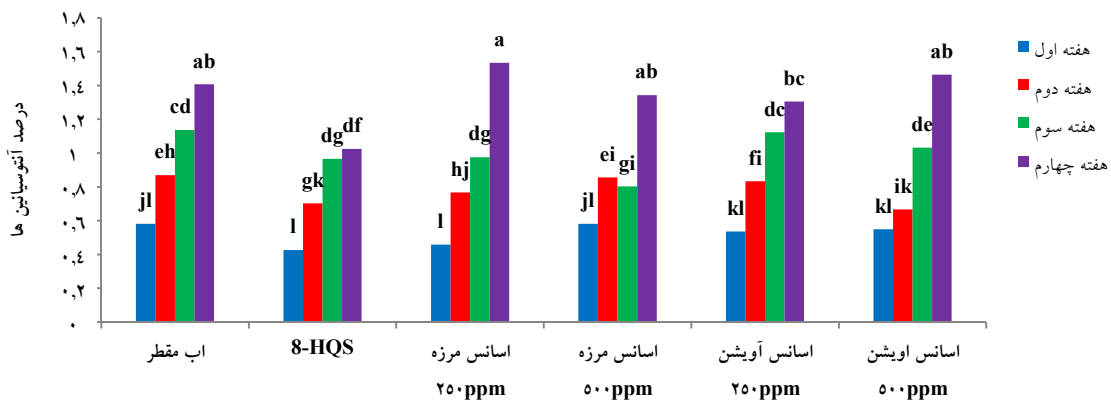
منابع تغییر	درجه	
	آزادی	میانگین مربعات
تیمارهای اعمال شده	۵	۳۰۷۲/۸۷**
زمان نمونه برداری	۱	۷۱۱/۱۱**
تیمار × زمان	۵	۱۸۱/۱۱*
خطا	۲۴	۵۱/۳۸
ضریب تغییرات	-	۲۱/۶۸

بیشتری در اثر گذشت زمان داشته‌اند، که این محتوای نسبی آب در تیمار اسانس آویشن در هر دو غلظت به ترتیب ۵۰۰ ppm و ۲۵۰ ppm به مقدار ۰/۷۷ و ۰/۸۲ در سومین هفته نمونه برداری به کمترین مقدار خود رسید. اما در همین تیمارها در آخرین هفته نمونه برداری محتوای نسبی آب گلبرگ اندکی افزایش یافت. احتمالاً تیمار اسانس مرزه ۵۰۰ ppm در حفظ این پارامتر بهترین تیمار می‌باشد، زیرا محتوای نسبی آب گلبرگ با شیب ملایمی با گذشت زمان کاهش یافته است (شکل ۷) که احتمالاً بیانگر شیب ادامه دار جذب آب از طریق آوند در این محلول گلجایی بوده است.

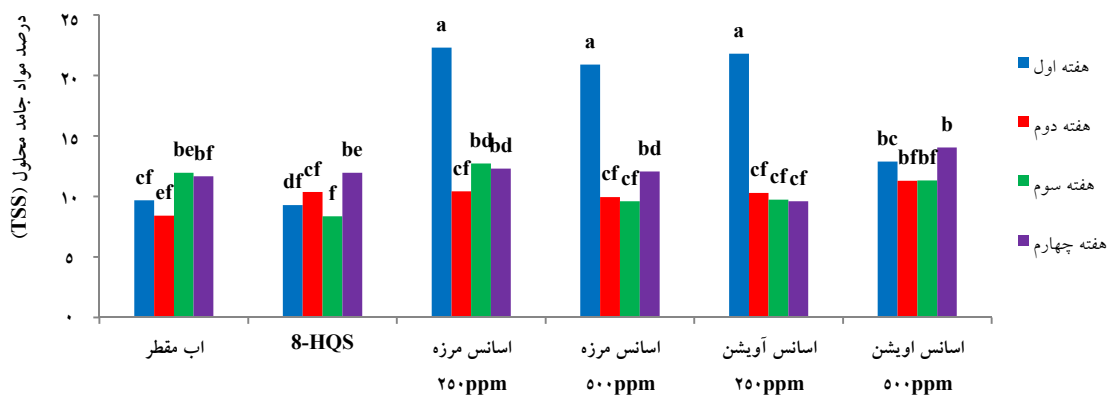
همین تیمار در آخرین هفته دارای بیشترین مقدار آب است.

۷.۳. محتوای نسبی آب گلبرگ (RWC)

نتایج جدول (۲) و شکل (۷) نشان داد که بیشترین مقدار محتوای نسبی آب گلبرگ مربوط به تیمار اسانس مرزه ۲۵۰ ppm در دومین هفته نمونه برداری بود که رفته رفته با گذشت زمان محتوای نسبی آب گلبرگ کم شد و مشخص است که با گذشت زمان گل‌ها به دلایل مختلف مانند گرفتگی آوند چوبی نتوانستند آب بیشتری جذب کنند یا بر اثر افزایش سطح تبخیر و تعرق افت آب

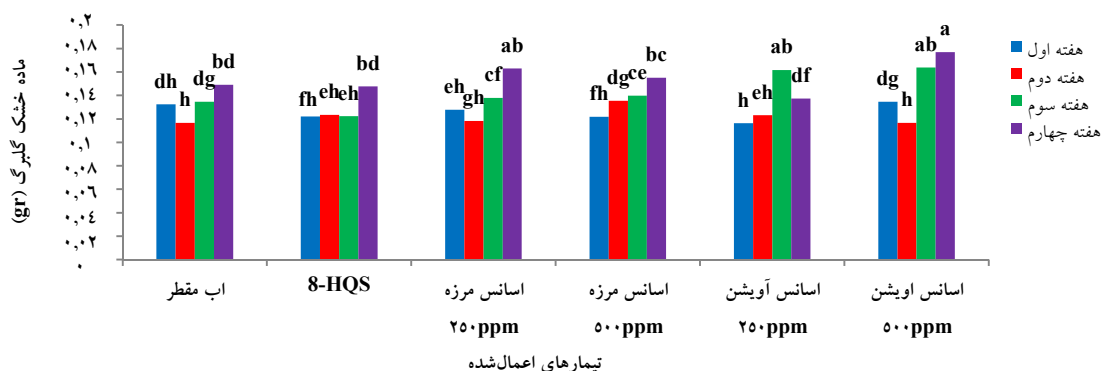


شکل ۴. اثر متقابل تیمارهای محلول گلجایی طی چهار هفته بر میزان آنتوسیانین‌های گلبرگ گل‌های شاخه بریده ژربرا

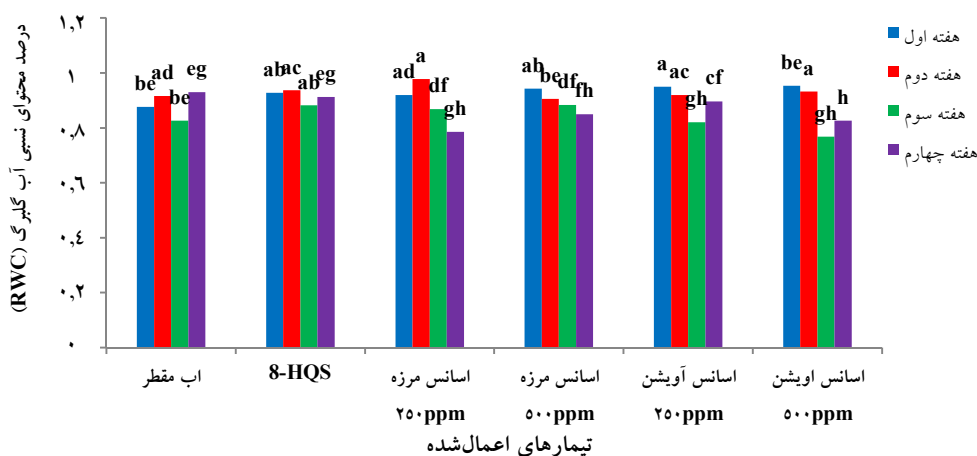


شکل ۵. اثرات متقابل تیمارهای محلول گلجایی طی چهار هفته بر میزان مواد جامد محلول گل شاخه بریده ژربرا

مقایسه عمر گلجایی و کیفیت ژبررا در محلول محافظ حاوی اسانس های گیاهی و ترکیبات شیمیایی



شکل ۶. اثرات متقابل تیمارهای محلول گلجایی طی چهار هفته بر میزان ماده خشک گلبرگ های گل شاخه بریده ژبررا



شکل ۷. اثرات متقابل تیمارهای محلول گلجایی طی چهار هفته بر درصد محتوای نسبی آب گلبرگ در گل شاخه بریده ژبررا

۲۵۰ppm نسبت به بقیه تیمار بهتری بود چون میزان کمبود به مرور افزایش یافت و در آخرین هفته نسبت به هفته قبل میزان جذب آب بهتر و کمبود آب کاهش یافت (شکل ۸). این موضوع مصداق عمر گلجایی بیش تر گل های شاخه بریده در این محلول نگهدارنده بود (شکل ۱).

۹.۳. فقدان آب گلبرگ (PWL)

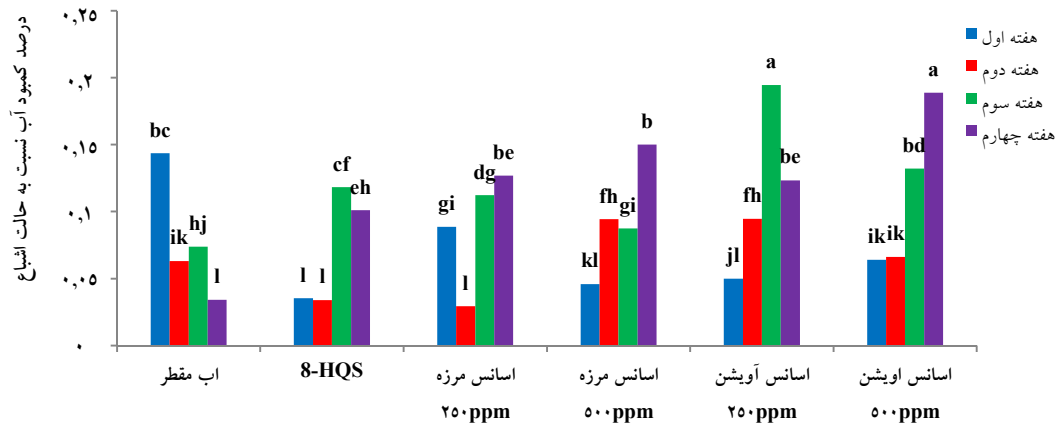
با توجه نتایج جدول (۲) و شکل (۹) مشاهده می شود که تیمارهای اسانس توانسته اند جلوی افت آب اولیه بافت را با احتمالاً بهبود جذب آب بگیرند و در هفته اول کمبود آب گلبرگ نسبت به تیمار شاهد کم تر بود.

۸.۳. میزان کمبود آب نسبت به حالت اشباع (WSD)

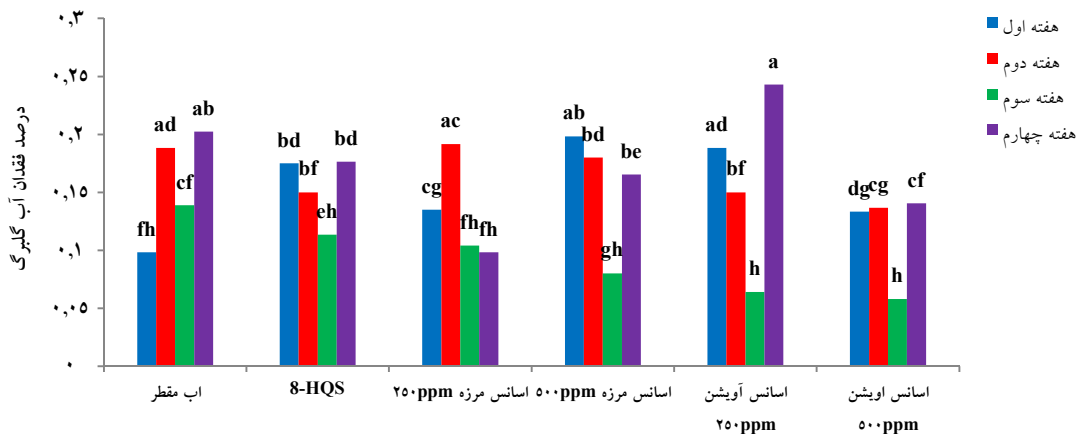
میزان کمبود آب نسبت به حالت اشباع در ابتدای مراحل آزمایش چون گل ها تازه از گیاه مادری جدا شده و ساقه ها هم تازه بریده شده و آوندها سالم بودند، آب بیشتری داشتند و گلبرگ ها نسبت به حالت اشباع کمبود کمتری نشان دادند و به اصطلاح شاداب تر بودند، اما به تدریج با گذشت زمان میزان آب آنها کم و میزان کمبود از حالت اشباع زیاد شد.

تیمار 8-HQS در دو هفته اول توانست آب بهتری جذب کند در نتیجه کمبود آب آن کم تر بود ولی در مراحل بعد آب کمتری جذب کرد و کمبود آب افزایش پیدا کرد. در بین تیمارهای اسانس، تیمار اسانس آویشن

حنیفه سید حاجی زاده، زهره مانی، فتانه یاری، فهیمه قلی زاده و کیل کندی



شکل ۸. اثرات متقابل تیمارهای محلول گلجای طی چهار هفته بر درصد کمبود آب نسبت به حالت اشباع



شکل ۹. اثر متقابل تیمارهای محلول گلجای طی چهار هفته بر درصد فقدان آب گلبرگ در گل شاخه بریده ژبریا

دوباره افزایش یافت. بیشترین مقدار فقدان آب گلبرگ مربوط به تیمار ۲۵۰ppm اسانس آویشن طی هفته آخر بود.

۳.۱۰. محتوای آب گلبرگ (PWC)

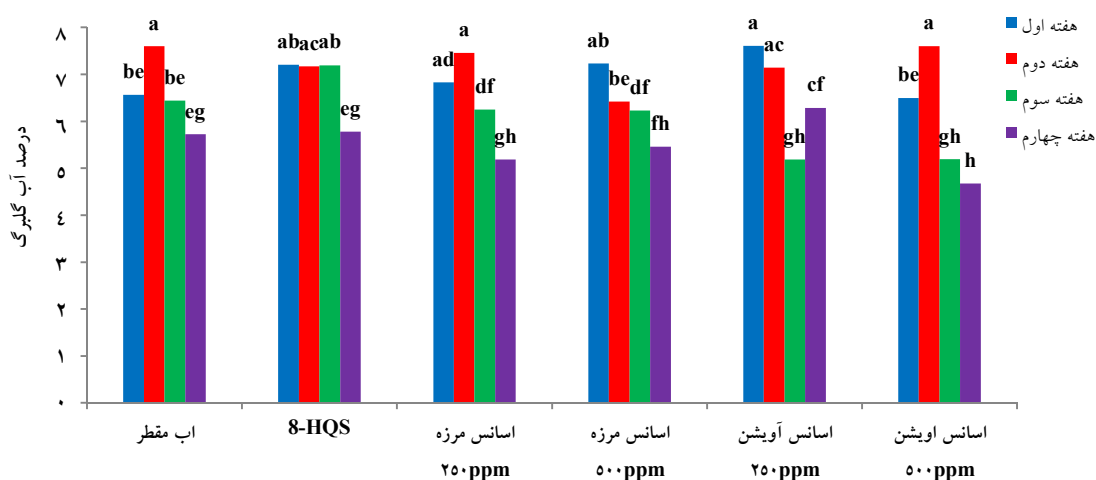
محتوای آب گلبرگ طی هفته اول نمونه برداری تا دومین هفته نمونه برداری افزایش یافت و به تدریج شروع به کاهش نمود (جدول (۲) و شکل (۱۰)). در تیمار 8-HQS در سه هفته اول تقریباً یکسان بود و کاهش نشان نداد، ولی در آخرین هفته این کاهش چشمگیر بود. در تیمار

اگرچه در اکثر تیمارها با گذشت زمان میزان فقدان آب گلبرگ افزایش یافت، به طوری که هرچه میزان این عدد بزرگتر باشد یعنی گلبرگها آب بیشتری از دست داده‌اند و میزان جذب آب نیز کاهش یافته است. در تیمار 8-HQS فقدان آب گلبرگ در مراحل اولیه زیاد بود و با گذشت زمان تا هفته سوم گلبرگها آب بهتری جذب کردند و در نتیجه فقدان آب کم بود ولی در آخرین هفته، محتوای فقدان آب دوباره افزایش یافت. مطابق شکل در تیمارهای حاوی اسانس فقدان آب گلبرگ ابتدا زیاد بود و در هفته سوم به کمترین مقدار خود رسید و در هفته آخر

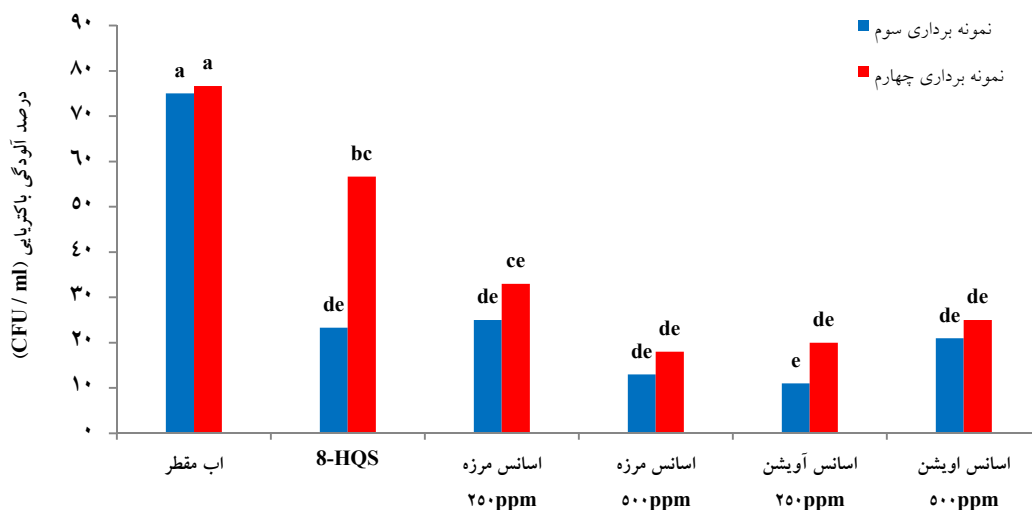
۳.۱۱. درصد آلودگی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها (جدول ۲) و مقایسات میانگین (شکل ۱۱) نشان داد که بیشترین میزان آلودگی مربوط به شاهد بود که نزدیک به ۸۰ درصد آلودگی نشان داد و تیمار 8-HQS نیز در نوبت سوم میزان آلودگی کمتری داشته ولی در نوبت چهارم حدود ۵۰ درصد آلودگی نشان داد.

اسانس مرزه ۵۰۰ppm محتوای آب گلبرگ ابتدا به مقدار ۰/۸۸ و در آخرین هفته به مقدار ۰/۸۴ رسید. بیشترین مقدار محتوای آب گلبرگ در اولین هفته مربوط به اسانس آویشن ۲۵۰ppm و در مراحل بعدی کاهش یافت که در هفته سوم به کمترین مقدار رسید و در هفته آخر دوباره افزایش یافت.



شکل ۱۰. اثر متقابل تیمارهای محلول گلجای طی چهار هفته (۱، ۲، ۳ و ۴) بر درصد محتوای آب گلبرگ



شکل ۱۱. اثر متقابل تیمارهای محلول گلجای طی هفته سوم و چهارم بر میزان آلودگی میکروبی در گل شاخه بریده ژربرا

دیده می شود. از سوی دیگر طول عمر یک گل رابطه مستقیمی با میزان جذب محلول پس از برداشت دارد. نتایج بیانگر اثر معنی دار ۱ درصدی تیمارها بر روی محتوای اولیه آب گلبرگ می باشد. به نظر می رسد طی دو هفته اول که گل ها در حال شکوفایی کامل بوده اند میزان جذب محلول افزایش یافته است، که تأثیر اسانس ها در این افزایش جذب محسوس تر بود. تیمار 8-HQS در مقایسه با شاهد و اسانس ها تأثیر بیش تری در جذب محلول در هفته سوم توسط گل داشت و کم ترین میزان جذب در تیمار ۵۰۰ppm اسانس آویشن دیده شد که احتمالاً بیش تر به دلیل ایجاد آسیب و انسداد در آوندها می باشد. درصد پژمردگی گل ها با گذشت زمان بیش تر شد. نتایج آزمایش نشان می دهد که هر دو تیمار اسانس و 8-HQS در مقایسه با شاهد میزان آلودگی میکروبی را کاهش داده اند و در این راستا تأثیر کاربرد اسانس ها بسیار چشم گیرتر از 8-HQS بود. لذا می توان با توجه به پژوهش جاری و برآیند پژوهش های انجام گرفته دیگر، استفاده از اسانس های گیاهی را در محلول محافظ گل پیشنهاد کرد که هم موادی دوستدار محیط زیست بوده و هم خاصیت باکتری کشی طبیعی و بهتر از مواد شیمیایی از خود بروز می دهند. اگرچه غلظت بهینه برای هر گل و مدت زمان اعمال تیمار در گل های مختلف و ارقام مختلف ممکن است به بهینه سازی نیاز داشته باشد.

۵. تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه مراغه به خاطر تأمین بخشی از هزینه های پایان نامه، هم چنین از آزمایشگاه گروه علوم باغبانی و آزمایشگاه شاعا به خاطر فراهم آوردن امکانات آزمایشگاهی برای انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

در تیمارهای مربوط به اسانس میزان آلودگی خیلی کم تر بود، به طوری که تیمار اسانس آویشن ۲۵۰ppm در بین تیمارها دارای کم ترین آلودگی و نسبت به بقیه تیمارها بهتر بود که با نتایج Ahmadi Mirabad *et al.* (2015) درباره خاصیت ضد میکروبی اسانس ها مطابقت دارد. با توجه به این که گل ژربرا به صورت درون زاد دارای ۱۵ نژاد باکتریایی کند رشد در ساقه می باشد، به طور معمول پس از چهار تا پنج روز از قرارگیری شاخه گل در محلول گلجایی، شیره های باکتریایی مجرای آوندها را در ساقه مسدود می کنند و جذب محلول گلجایی با مشکل مواجه خواهد شد. بنابراین ترکیبات و عصاره هایی که دارای ویژگی ضدباکتریایی باشند با بازگذاشتن مجراهای آوندی ساقه در افزایش عمر گلجایی آن مفید خواهند بود، البته به شرطی که در غلظت های مناسب استفاده شوند. اسانس ها با پیوندهای هیدروژنی به پروتئین های آب گریز غشای یاخته متصل شده و در نتیجه با افزایش نفوذپذیر کردن غشا منجر به مرگ باکتری ها می شود (Juven *et al.*, 1994). گزارش شده است که مواد مؤثره اسانس آویشن باغی با آسیب به دیواره یاخته ای و غشا می تواند باعث نشت مولکول ها و مرگ تدریجی باکتری ها شود (Pichersky *et al.*, 2006). گزارش ها حاکی از این است که اسانس های گیاهی می توانند با کاهش پایداری غشا و تخریب سیستم آنزیمی درگیر در تولید انرژی و ترکیبات ساختاری سلول میکروارگانیسم باعث کم کردن آلودگی های میکروبی شوند (Sakihama *et al.*, 2002).

۴. نتیجه گیری

طی پیری گل به طور طبیعی کاهش وزن ناشی از سلسله وقایع پیری رخ می دهد. اگرچه به نظر می رسد تیمار اسانس توانسته روند کاهشی آن را به تأخیر بیندازد و در این راستا اسانس مرزه تأثیر بیش تری داشته و رابطه مستقیمی بین تیمار اسانس و افزایش میزان مواد جامد محلول و ماده خشک

۷. منابع

- Ahmadi Mirabad, A., Nejad Hoseini, S. M., Arshadi, H., & Ebrahimi, M. (2015). The effect of some essential oils on vase life of carnation (*Dianthus caryophyllus* cv. Beaumonde). In: *3rd National Conference of medicinal plants and sustainable agriculture*, Hamadan, Shahid Mofteh Faculty. Iran. (In Persian)
- Asrar, A.W.A. (2011). Effects of some preservative solutions on vase life and keeping quality of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) cut flowers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(1), 29-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2011.06.002>
- Balestra, G.M., Agostini, R., Bellincontro, A., Mencarelli, F., & Varvaro, L. (2005). Bacterial populations related to gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) stem break. *Phytopathologia Mediterranea*, 44(3), 291-299.
- Bariola, P.A., MacIntosh, G.C., & Green, P.J. (1999). Regulation of S-like ribonuclease levels in Arabidopsis. Antisense inhibition of RNS1 or RNS2 elevates anthocyanin accumulation. *Plant Physiology*, 119(1), 331-342. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.119.1.331>
- Bayat, H., Azizi, M., Shour, M. & Vahdati, N. (2010). The Effect of Ethanol and Essential Oil in Extending the Vase Life of Cut Flowers of carnation (*Dianthus caryophyllus* cv. Yellow candy). *5rd national Conference on New Idea in Agriculture*, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan), Faculty of Agriculture. Iran. DOI: <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.11602>. (In Persian)
- Bayat, H., Geimadil, R. & Saadabad, A. A. (2013). Treatment with essential oils extends the vase life of cut flowers of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Journal of Medicinal Plants and By-products*, 2, 163-169.
- Bidarigh, S. (2015). Improvement vase life of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* L.) cut flowers using essential oils of geranium, eucalyptus and myrtus. *Journal of Ornamental Plants*, 5(4), 213-221.
- Chanjirakul, K., Shioh, U.Y., Chien, Y.W., & Siriphanich, J. (2008). Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries. *Postharvest Biology. Technology*, 40,106-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.01.004>
- Danai, E., Mostofi, Y., Moradi, P., & Azizinejad, R. (2011). Effect of some chemical treatments on postharvest quality and vase life ofgerbera cut flowers (*Gerbera jamesonii* cv. Good Timing). *Journal of crops improvment*, 13(1), 21-29. (In Persian)
- Ezhilmathi, K., Singh, V., Arora, A., & Sairam, R. (2007). Effect of 5-sulfosalicylic acid on antioxidant activity in relation to vase life of Gladiolus cut flowers. *Journal of plant growth regulation*, 51, 99-108. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-006-9142-2>
- Fereidouni Mehr, E., Babaei, A., Moradi, P., & Shafiei, M. R. (2011). The Effect of Benzyl Adenine, Nanosilver, 8-Hydroxyquinoline Sulfate and Sucrose in Increasing longevity and Some Qualitative Traits of Cut flower carnation. *Plant and Ecosystem*, 7, 1-29. (In Persian)
- Getaspolus, D., & Cheble, B. (1999). Effects of pre- and postharvest calcium applications on the vase-life of cut gerberas. *Journal of horticultural science & biotechnology*, 74, 78-81. DOI: <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511076>
- Gunes, A., Inal, A., Adak, M. S., Bagci, E. G., Cicek, N., & Eraslan, F. (2008). Effect of drought stress implemented at pre-or post-anthesis stage on some physiological parameters as screening criteria in chickpea cultivars. *Russian Journal of Plant Physiology*, 55(1), 59-67. DOI: 10.1134/S102144370801007X
- Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia plantarum*, 84(1), 55-60. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x
- Jiang, C.Z. (2012). Michael S. Reid Department of Plant Sciences University of California Davis, California 95616, USA. *Horticulture Reviews*, 40, 1.
- Juven, B., Kanner, J., Schved, F., & Weisslowecz, H. (1994). Factors that interact with the antibacterial action of thyme essential oil and its active constituents. *Journal of Applied Microbiology*, 76, 626-631. DOI: 10.1111/j.1365-2672.1994.tb01661.x
- Kharrazi, M., Sharifi, A., Bagheri, A., & Moradian, Y. M. (2017). The Effect of hormonal compounds on micropropagation of fifteen cultivars of Gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus ex Hooker f.). *Plant production*, 40(4), 91-102. DOI: 10.22055/PPD.2018.13443. (In Persian)

- Koushesh Saba, M., & Nazari, F. (2017). Vase Life of Gerbera Cut Flower cv. Pink Power affected by Different Treatments of Plant Essential Oils and Silver Nanoparticles. *Journal of Plant Production Research*, 24(2), 43-59. DOI: 10.22069/JOPP.2017.11154.2036. (In Persian)
- Macnish, A. J., Leonard, R. T., & Nell, T. A. (2008). Treatment with chlorine dioxide extends the vase life of selected cut flowers. *Postharvest biology and technology*, 50, 197-207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.04.008>
- Nadaf zadeh, M., Abdanan Mehdizadeh, S., & Salehi Salmi, M. (2019). Prediction and Control of the Water Content of the Turfgrass Plant by an Intelligent System Using Image Processing and Support Vector Regression Algorithm. *Machine Vision and Image Processing*, 5(2), 85-102. (In Persian)
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22, 867-880. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>
- Pichersky, E., Noel, J. P., & Dudareva, N. (2006). Biosynthesis of plant volatiles. *Natures diversity and ingenuity. Science*, 311, 808-811. DOI: 10.1126/science.1118510
- Ramirez-Vallejo, P., & Kelly, J. D. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*, 99(2), 127-136. DOI: 10.1023/A:1018353200015
- Sabzmeidani, E., Heydari, M., & Razaghi Pei ghale, H. (2012). The Effect of ethanol and Satureja essential oil on postharvest of chrysanthemum (*Chrysanthemum indicum* cv. White) cut flowers. *The 3rd National Conference on Agriculture and Food Sciences*. Islamic Azad University, Fasa Branch. (In Persian)
- Sairam, R. K., Deshmukh, P. S., & Shukla, D. S. (1997). Tolerance to drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat. *Journal of agronomy and crop science*, 178, 171-177. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1997.tb00486.x>
- Sakihama, Y., Cohen, M. F., Grace, S. C., & Yamasaki, H. (2002). *Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. Toxicology*, 177(1), 67-80. DOI: 10.1016/s0300-483x(02)00196-8
- Shanan, T. N., Emara, K. S., & Barakat, S. O. (2010). Prolonging vase life of carnation flowers using natural essential oils and its impact on microbial profile of vase solutions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(8), 3559-3574.
- Soad, M. M. I., Lobna, S. T., & Rawia, A. E. (2011). Extending postharvest life and keeping quality of gerbera cut-flowers using some chemical preservatives. *Journal of Applied Sciences Researches*, 7(7), 1233-1239.
- Wagstaff, C., Bramke, I., Breeze, E., Thornber, S., Harrison, E., Thomas, B., Buchanan-Wollaston, V., Stead, T., & Rogers, H. (2010). A specific group of genes respond to cold dehydration stress in cut Alstroemeria flowers whereas ambient dehydration stress accelerates developmental senescence expression patterns. *Journal of Experimental Botany*, 61, 2905-2921. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erq113>